



普通高等教育“十三五”规划教材

材料专业概论

李 霄 王世清 主编

徐学利 主审

中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

普通高等教育“十三五”规划教材

材料专业概论

李 霄 王世清 主编
徐学利 主审

中国石化出版社

内 容 提 要

《材料专业概论》是材料类专业的入门教科书。全书以材料的“成分与结构—制备与加工—物理、化学及工艺性能—使用效能”为主线,从工程实际出发,主要介绍了材料科学的基本概念和范畴,重要工程材料的成分、结构、性能、制备与加工技术,同时介绍了材料的成分、结构、性能分析技术。

本书可以作为材料类专业入门基础课程的教学用书,也可作为材料成型及控制工程、过程装备与控制工程、油气储运工程等相关专业的选修课教材或教学参考书,同时也可供从事材料理论研究、加工制造等工作的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

材料专业概论 / 李霄, 王世清主编. —北京: 中国石化出版社, 2017. 4
普通高等教育“十三五”规划教材
ISBN 978-7-5114-3608-5

I. ①材… II. ①李… ②王… III. ①材料科学-高等学校-教材 IV. ①TB3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 060653 号

未经本社书面授权,本书任何部分不得被复制、抄袭,或者以任何形式或任何方式传播。版权所有,侵权必究。

中国石化出版社出版发行

地址:北京市朝阳区吉市口路9号
邮编:100020 电话:(010)59964500
发行部电话:(010)59964526
<http://www.sinopec-press.com>
E-mail:press@sinopec.com
北京科信印刷有限公司印刷
全国各地新华书店经销

*

787×1092 毫米 16 开本 9.75 印张 260 千字
2017 年 5 月第 1 版 2017 年 5 月第 1 次印刷
定价:25.00 元

前 言

材料、信息和能源被称为现代人类文明的三大支柱，材料是基础中的基础，作为先导和支柱产业，起着不可替代的作用。材料类专业是研究材料的成分、结构、加工方法、性能和使用效能的学科。金属材料一般是指工业应用中的纯金属或合金。由于具有良好的物理、化学、力学及工艺等性能，金属材料在工业生产中得到了广泛应用，是材料类专业研究的重点之一。

本书紧密围绕材料类专业的特色及其研究对象的工程应用，以材料的“成分与结构—制备与加工—物理、化学及工艺性能—使用效能”为主线，阐述了材料科学相关的基本理论与概念，通过引用科研和生产实践中的一些技术成果和典型案例，力图做到内容由浅入深、系统性与实用性相统一。同时启发学生独立思考，使其充分认识材料类专业的特色，并初步了解主要工程材料的特征、基本的材料制备、加工工艺及常用的材料分析方法。

本书既可作为高等学校材料类专业基础课程教材，也可作为材料成型及控制工程、过程装备与控制工程、油气储运工程等有关专业的选修课教材或教学参考书；同时也可供从事材料研究、材料加工制造等工作的工程技术人员参考。

本书由西安石油大学李霄、王世清主编，西安石油大学徐学利主审。全书共5章，其中第1章、第2章由王世清编写，第3章、第4章和第5章由李霄编写。

本书的出版得到了西安石油大学青年科研创新团队(2015QNKYCXTD02)、国家自然科学基金(51505379)及西北工业大学凝固技术国家重点实验室(SKLSP201505)的支持，同时得到了西安石油大学周勇、周好斌、张骁勇、宋海洋、雒设计等在内容及编排方面的帮助，谨致感谢。

由于编者水平所限，书中错误或不足之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

编 者

目 录

1 绪论	(1)
1.1 材料与材料科学	(1)
1.1.1 材料发展历程	(1)
1.1.2 材料科学	(2)
1.2 材料科学技术的发展趋势	(3)
1.3 材料类专业	(5)
2 材料的结构及性能	(9)
2.1 材料的分类及常用工程材料	(9)
2.1.1 材料分类方法	(9)
2.1.2 常用工程材料	(10)
2.2 材料的基本性能	(12)
2.2.1 工程材料的物理性能	(13)
2.2.2 工程材料的化学性能	(16)
2.2.3 工程材料的力学性能	(17)
2.2.4 工程材料的工艺性能	(18)
2.3 金属及其组织、结构与性能	(20)
2.3.1 金属组织及结构的基本知识	(20)
2.3.2 铁及铁合金的成分、组织及性能	(26)
2.3.3 铝及铝合金的成分、组织及性能	(31)
2.3.4 铜及铜合金的成分、组织及性能	(32)
2.3.5 钛及钛合金的成分、组织及性能	(34)
2.4 无机非金属材料的结构及性能	(35)
2.4.1 陶瓷的结构及性能	(35)
2.4.2 玻璃的结构及性能	(38)
2.4.3 耐火材料的结构及性能	(40)
2.4.4 水泥的结构及性能	(42)
2.5 高分子材料的结构及性能	(43)
2.5.1 高分子材料的组成	(43)
2.5.2 高分子材料的结构	(44)
2.5.3 高分子材料的性能	(46)

2.6	复合材料的结构及性能	(47)
2.6.1	金属基复合材料的组成、结构及性能	(47)
2.6.2	无机非金属基复合材料的组成、结构及性能	(49)
2.6.3	聚合物基复合材料的组成、结构及性能	(50)
3	材料的制备	(51)
3.1	材料制备方法	(51)
3.1.1	气相法	(51)
3.1.2	液相法	(52)
3.1.3	固相法	(54)
3.2	纯金属及合金的制备	(54)
3.2.1	铁的冶炼	(55)
3.2.2	钢的冶炼	(56)
3.2.3	铝及铝合金的制备	(61)
3.2.4	铜及铜合金的制备	(62)
3.3	无机非金属材料的制备	(65)
3.3.1	陶瓷的制备	(65)
3.3.2	玻璃的制备	(66)
3.3.3	耐火材料的制备	(66)
3.3.4	水泥的制备	(67)
3.4	高分子材料的制备	(67)
3.4.1	单体制备	(68)
3.4.2	加聚型聚合物的制备	(68)
3.4.3	缩聚型聚合物的制备	(69)
3.5	复合材料的制备	(69)
3.5.1	金属基复合材料的制备	(69)
3.5.2	陶瓷基复合材料的制备	(70)
3.5.3	树脂基复合材料的制备	(71)
3.6	纳米材料的制备	(71)
3.6.1	气相法制备纳米材料	(72)
3.6.2	液相法制备纳米材料	(72)
3.6.3	固相法制备纳米材料	(72)
4	材料的加工	(74)
4.1	金属材料的成型加工方法	(74)
4.1.1	金属材料的铸造	(74)
4.1.2	金属材料的锻造	(79)
4.1.3	金属材料的冲压	(81)
4.1.4	金属材料的焊接	(82)

4.1.5 其他连接方法	(91)
4.2 金属材料的改性	(95)
4.2.1 热处理及其分类	(95)
4.2.2 普通热处理	(95)
4.2.3 化学热处理	(99)
4.2.4 表面淬火	(101)
4.2.5 其他表面改性技术	(102)
4.3 金属材料的机械加工	(104)
4.3.1 车削	(105)
4.3.2 铣削	(105)
4.3.3 钻削	(106)
4.3.4 刨削	(107)
4.3.5 磨削	(107)
4.3.6 其他加工方法	(108)
4.4 非金属材料的加工方法	(110)
4.4.1 无机非金属材料的加工	(110)
4.4.2 高分子材料的加工方法	(111)
4.4.3 复合材料的加工方法	(112)
5 材料分析方法	(114)
5.1 材料成分及物相分析方法	(114)
5.1.1 成分分析方法	(114)
5.1.2 物相分析方法	(119)
5.2 材料的组织形貌与结构分析方法	(122)
5.2.1 光学显微分析	(122)
5.2.2 扫描电子显微分析	(123)
5.2.3 电子背散射衍射显微分析	(124)
5.2.4 透射电子显微分析	(124)
5.3 材料性能分析方法	(125)
5.3.1 常用物理性能分析方法	(125)
5.3.2 常用化学性能分析方法	(129)
5.3.3 常用力学性能分析方法	(131)
5.3.4 常用工艺性能分析方法	(136)
5.4 材料无损探伤分析方法	(142)
5.4.1 表面损伤检测方法	(142)
5.4.2 内部损伤检测方法	(144)
参考文献	(147)

1 绪 论

材料是人类社会发展的基础和先导，是人类社会进步的里程碑和划时代的标志。材料、能源和信息被称为人类社会的“三大支柱”，其中材料是基础中的基础，作为先导和支柱产业，起着不可替代的作用。所谓材料是指人类用于制造物品、器件、构件、机器或其他产品的物质。材料是物质，但并不是所有物质都是材料。一般来自采掘工业和农业的劳动对象称为原料，而经过工业加工的原料(如钢铁、水泥)称为材料。

1.1 材料与材料科学

1.1.1 材料发展历程

材料是人类生活和生产的物质基础，是人类认识自然和改造自然的工具。纵观人类发现材料、利用材料的历史，一种新材料的出现必将促进技术的进步和文明的发展。因此在科学家看来，人类文明的历史就是材料的发展史。而从考古学的角度，人类文明也正是按所使用材料的特征被划分为旧石器时代、新石器时代、青铜器时代、铁器时代等。从人类的出现到21世纪的今天，随着人类的文明程度不断提高，材料的发展大致经历了以下五个发展阶段。

(1) 纯天然材料阶段

在远古的旧石器时代，人类只会使用天然材料(兽皮、甲骨、羽毛、树木、草叶、石块、泥土等)。在新石器时代人类的文明程度有了很大进步，在制造器物方面有了种种技巧，但仍然是对纯天然材料(石头、天然铜或金)的简单加工。

(2) 热量制造材料阶段

在新石器时代人类已经发明了用黏土成型、用火烧固化的烧陶工艺，后来在烧陶的过程中偶然发现了金属铜和锡，进而掌握了浇注青铜的技术，使人类文明进入了青铜器时代。公元前9世纪，中国古人已经掌握了钢铁的冶炼技术，极大促进了生产力的大发展。

18世纪发明的蒸汽机、19世纪发明的电动机，对金属材料提出了更高的要求，进而推动了转炉炼钢、平炉炼钢技术的发展。随着电炉冶炼技术的发展，高锰钢、高速钢、硅钢、镍铬不锈钢相继问世。同时铜、铝、镁、钛及其他稀有金属也得到了大量应用。

(3) 物理与化学原理合成材料阶段

20世纪初，随着物理学和化学等科学的发展以及各种检测技术的出现，人类一方面从化学角度出发，开始研究材料的化学组成、化学键、结构及合成方法，另一方面从凝聚态物理、晶体物理和固体物理等方面研究材料的组成、结构及性能之间的关系。正是由于物理和化学等科学理论在材料技术中的应用，从而形成了材料科学。在此基础上，人类开始了人工合成塑料、合成纤维及合成橡胶等合成高分子材料的新阶段。另外除合成高分子材料，人类也合成了一系列的合金材料和无机非金属材料。超导材料、半导体材料、光纤等材料都是这一阶段的杰出代表。

(4) 材料的复合化阶段

20世纪50年代金属陶瓷的出现标志着复合材料时代的到来。随后又出现了玻璃钢、铝

塑薄膜、梯度功能材料以及最近出现的抗菌材料的热潮，都是复合材料的典型实例。它们都是为了适应高新技术的发展以及人类文明程度的提高而产生的。

(5) 材料的智能化阶段

自然界中的材料都具有自适应、自诊断和自修复的功能，如所有的动物或植物都能在没有受到绝对破坏的情况下进行自诊断和修复，人工材料目前还不能做到这一点。但是近三四十年研制出的一些材料已经具备了其中的部分功能，这就是目前最吸引人们注意的智能材料，如形状记忆合金、光致变色玻璃等。尽管近 10 余年来，智能材料的研究取得了重大进展，但是离理想智能材料的目标还相距甚远，而且严格来讲，目前研制成功的智能材料还只是一种智能结构。

1.1.2 材料科学

1957 年前苏联人造卫星上天，美国为之震惊，认为美国在这个领域技术落后的主要原因是材料的落后，于是先后成立了十余个材料研究中心，采用先进的科学理论与实验方法对材料进行深入的研究，从此形成了“材料科学”这个名词。

材料科学的形成是科学技术发展的结果。固体物理、无机化学、有机化学、物理化学等学科的发展，推动了材料结构、物性的深入研究，同时冶金学、金属学、陶瓷学、高分子学等的发展使得材料本身大大加强，对材料的制备、结构与性能及其相互关系的研究奠定了材料科学的基础。

在材料科学这个名词出现以前，金属材料、高分子材料与陶瓷材料都已自成体系，然而它们之间存在着诸多相似之处。如马氏体相变本来是金属学家提出的，广泛用于钢的热处理理论基础，但在氧化锆陶瓷中也发现了马氏体相变现象，并被用来作为陶瓷增韧的一种有效手段；又如材料制备方法中的溶胶-凝胶法，是利用金属有机化合物的分解而得到纳米级高纯氧化物粒子，成为改进陶瓷性能的有效途径。虽然不同类型的材料各有其专用测试设备与生产装置，但各类材料的研究检测设备与生产手段也有颇多共同之处。例如显微镜、电子显微镜、表面测试及物性与力学性能测试设备等。因此在材料生产、研究过程中存在的诸多相通之处，推动了材料的进一步发展。相反，如果金属、高分子、无机非金属材料仍然各成体系，不利于发展创新，对复合材料的发展尤其不利。因此材料科学是基于材料发展的需求及材料的共性而形成的，但是由于各类材料的学科基础不同，仍然存在不小的分歧，特别是无机材料与有机材料之间分歧较大。

材料科学所包括的内容往往被理解为研究材料的组织、结构与性能的关系，探索自然规律，属于基础研究。实际上，材料是面向工程、为经济建设服务的一门应用科学，研究与发展材料的目的在于应用，而材料必须经过合理的工艺流程才能制备出具有实用价值的材料，通过批量生产才能成为工程材料。所以在“材料科学”这个名词出现不久，就提出了“材料科学与工程”。工程是指研究材料在制备过程中的工艺和工程技术问题。因而材料科学与工程研究的是材料组成、结构、生产过程、材料性质与使用性能以及他们之间的相互关系。

组成与结构、合成与加工、性质与现象、使用性能称为材料科学与工程的四个基本要素。四个基本要素之间的关系如图 1-1 所示。其中“组成与结构”决定影响材料性质和使用性能的原子类型和排列方式，而“合成与加工”实现特定的原子排列，并赋予材料声、光、电、磁、热、力等方面的“性能与现象”，使材料具有“使用性能”。每当一种材料被创造、发现和生产出来时，该材料所表现出来的性质和现象是人们关心的中心问题，而材料的性质和现象取决于成分和各种尺度上的结构，材料的结构又是合成和加工的结果，最终得到的材

料制品必须能够、并且以经济和社会可以接受的方式完成某一指定的任务,因而,无论哪种材料都包括了这四个要素。也正是在这四个要素的基础上,各种材料相互借鉴、补充并渗透。所以抓住四要素就抓住了材料科学与工程研究的本质。

总之,材料科学是一个物理学、化学、冶金学、金属学、陶瓷、高分子化学、计算机科学等学科相互融合与交叉的结果,同时也是一种与实际应用结合密切的科学,而且是一个正在发展中的科学,必将随各有关学科的发展而得到充实和完善。

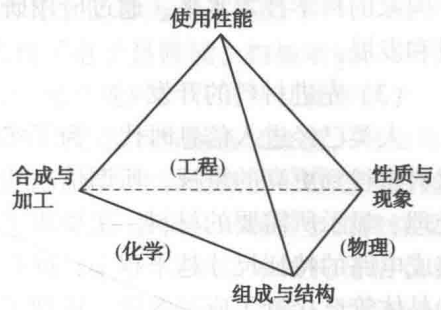


图 1-1 材料科学与工程四要素的关系

1.2 材料科学技术的发展趋势

先进材料的研究、开发与应用反映了一个国家科学技术与工业的发展水平,而材料科学的进步将会推动工业技术及人类文明的革命性变化。从电子技术的发展可以看出材料所起的作用。1906 年发明了电子管,出现了无线电技术、电视机、电子计算机;1948 年发明了半导体晶体管,赋予了电子设备小型、轻量、节能、低成本、高可靠性及长寿命等特点;1958 年出现了集成电路,使计算机及各种电工设备发生了再一次的飞跃;在 1958—1998 年的 40 年间,随着晶片制作技术及单晶硅质量的提高,器件集成度不断提高,尺寸降低了 100 万倍。同时伴随着光纤通讯技术、信息网络的发展,计算机等智能设备迅速进入工业、生活等各个领域,甚至彻底改变了人类的生产及生活方式。

21 世纪,以微型计算机、多媒体和网络技术为代表的通信产业;以基因工程、克隆技术为代表的生物技术;以核能、风能、太阳能、潮汐能等为代表的新能源技术;以探索太空为代表的宇航技术以及为人类持续发展所需的环境工程等,都对材料开发提出了更新的要求,复合化、功能化、智能化、低维化将成为材料开发的目标。主要体现在以下几个方面。

(1) 材料制备工艺与技术的开发

任何一种新材料从开发到应用,必须经过适宜的制备工艺才能使之成为工程材料。如高温超导技术自 1986 年发现以来,仍然处于刚刚起步的阶段,主要是因为没有找到廉价而稳定的生产线材的工艺。传统材料也需要不断改进生产工艺或流程,以提高产品质量、降低成本和减少污染,从而提高竞争力。

材料制备工艺的发展重点是实现工艺流程的智能化、实现原子或分子加工,使材料或器件依照人们的意志达到微型化、多功能化和智能化。失重环境、强磁场、强冲击波、超高压、超高真空以及强制快冷等都可能成为改进材料性能的有效手段。

(2) 材料的应用研究与开发

材料的广泛应用是材料科学技术发展的主要动力,实验研究出来的具有优异性能的材料不等于具有使用价值,必须通过大量应用研究才能发挥其应有的作用。材料的应用必须考虑材料的使用性能、使用寿命、可靠性、生产及使用过程中的环境适应性、价格等因素。关键结构用的关键材料,如航空航天及医用材料,一旦发生意外,则损失严重,必须采用高质量、高可靠性材料,同时要加强检验。而量大面广的材料,如建筑和包装材料,降低成本是主要的目标。再者材料的应用研究是失效分析的基础,而失效分析的准确性与时效性代表一

个国家的科学技术水平，通过应用研究也可以发现材料中规律性的东西，进而指导材料的改进和发展。

(3) 先进材料的开发

人类已经进入信息时代，为了实现装置的小型化、低功耗、多功能和智能化，信息功能材料将得到更高的重视。所谓信息功能材料，就是指信息产生、获取、存储、传输、转换、处理、显示所需要的材料。主要用于计算机、通讯和控制。以集成电路所需材料为例，随着集成电路的特征尺寸越来越小，硅晶片的尺寸越来越大，制作工艺越来越困难。2011年来，硅晶体管已接近了原子等级，达到了其物理极限，由于这种物质的自然属性，加上发热及量子效应，硅晶体管的运行速度和性能难有突破性发展。因此，人们一直在努力寻找能够替代当前硅芯片的物质，碳纳米管就是主要的研究方向之一。

先进结构材料的研究与开发是永恒的主题。结构材料用量庞大，资源与能源消耗大，对可持续发展其决定性作用。提高结构材料的性能，延长使用寿命，可减少材料的用量。高比强度、高比刚度对提高力学性能十分重要；耐磨、耐蚀、抗疲劳、抗老化是延长使用寿命的关键，因此，在材料的发展中，必须给予高度重视。21世纪上半叶，金属材料仍占主导地位；先进陶瓷材料需要进一步提高韧性、降低成本；有机材料以其再生资源的优势和优异性能，而且可实现分子设计而进一步得到发展；先进复合材料类型很多，有些已经得到广泛应用，如碳纤维增强树脂基复合材料；有的因价格高，制作难度大，需要进一步发展新工艺，如金属基复合材料；部分超高温材料，如碳/碳复合材料，必须解决抗氧化问题才能得到更大范围的应用。

能源材料的开发有广阔的前景。目前化石燃料储量有限，污染严重，必须大力开发无污染、可再生能源。太阳能虽然密度低、受气候影响，但辐射于地表的能量万倍于人类开发的能源。因此，开发光-电转换效率高，廉价寿命长的材料是当务之急。海水中的氘可谓取之不尽，用之不竭，有望成为人类的最终能源。据预测，通过可控核聚变发电在21世纪将实现商业化，其中抗辐射、耐高温、耐氢脆材料是关键之一。除开发新能源外节能也十分重要，如超导材料输电损耗低、触电效率高，具有十分诱人的前景。

有机高分子材料将有更大的发展。高分子聚合物不但是重要的结构材料，而且正在发展成为重要的功能材料，如作为半导体其电导率可与铜相比，还有种类繁多的高分子光学材料，另外高分子材料还可以具有铁磁性质，这些都将成为重要的研究领域。

随着生物技术的发展及人类寿命的延长与生活质量的提高，生物医用材料成为人们关注的领域，人的器官更换、药物缓释及组织工程的发展都将逐步深入。生物模拟是另一正在兴起的学科，使材料的功能进一步提高，并达到自恢复、自修复或智能化。生物材料的更长远目标是使生物技术原理用于工业化生产，改变高温、高压、高能耗的生产方式。当然，这是一个很长的历史过程。

纳米材料及制备技术的研究与开发迫在眉睫。当物质到纳米尺度时，由于其尺寸效应、晶界效应和量子效应等，材料显示出独特的物理、化学性能，或其生物功能有明显改变。利用这一效应可大幅度提高结构材料的强度、韧性，使功能材料的应用更广泛。纳米科学技术仍处于基础研究阶段，特别是纳米电子学、纳米医学所需材料，尚处于探索阶段，但纳米技术用于结构材料的改性及用作某些功能材料已经显示出明显的优越性，有些已经进入产业化。

(4) 科学仪器与检测装置的开发

科学技术的发展很大程度上依赖于新科学仪器的不断发明和性能的不断提高，工业产品

质量的改进往往取决于检测装置精度的提高。以电子及光学仪器为例，1863 年开始将光学显微镜应用于材料的微观结构观察与表征。几十年后出现了电子显微镜、扫描电镜、高分辨电镜，其分辨率达 0.2nm，足以观察到原子。扫描透射电镜出现后，不仅可以观察原子，还可以分析微小区域的化学组成及结构。20 世纪 80 年代初出现的扫描隧道显微镜，可以在非真空条件下观察到原子，并用来进行原子加工。一种更为引人注意的显微技术称之为扫描探针显微镜，可以在不同结构中观察到单个原子或分子。原子力显微镜可以观察金属脆性或韧性断裂过程。红外原子力显微镜可以观察高分子聚合物的苯环。又如晶体结构分析仪器，1912 年发现 X 射线通过晶体产生衍射花样，随后推广到电子衍射与中子衍射。而后又出现了基于不同原理的多种仪器。无损检测装置不仅可以检查宏观缺陷，也可以监控裂纹的萌生与扩展。因此材料科学工作者不仅要利用先进设备研究开发新材料，同时也应致力于发明新的检验、测试装置。

总之，21 世纪高技术新材料的发展必将日新月异，材料科学的内涵也将日益丰富，其发展程度可能会出乎我们的预料。

1.3 材料类专业

根据教育部 2012 年印发的《普通高等学校本科专业目录》，材料类专业包括 8 个基本专业，6 个特设专业，如表 1-1 所示，除材料物理、材料化学专业可授工学或理学学士学位，其余各专业均授工学学士学位。

表 1-1 材料类专业设置

类 型	代 码		名 称
基本专业	0804	01	材料科学与工程
		02	材料物理
		03	材料化学
		04	冶金工程
		05	金属材料工程
		06	无机非金属材料工程
		07	高分子材料与工程
		08	复合材料与工程
特设专业	0804	09T	粉体材料科学与工程
		10T	宝石及材料工艺学
		11T	焊接技术与工程
		12T	功能材料
		13T	纳米材料与技术
		14T	新能源材料与器件

(1) 材料科学与工程专业

材料科学与工程专业培养具备金属材料、无机非金属材料、高分子材料等材料领域的科学与工程方面的基础知识，能在各种材料的制备、加工成型、材料结构与性能等领域从事科学研究与教学、技术开发、工艺和设备设计、技术改造及经营管理等工作的高级专门人才。

学生主要学习材料科学与工程的基础理论，学习并掌握材料的制备、组成、组织结构与性能之间关系的基本规律。接受金属材料、无机非金属材料、高分子材料、复合材料以及各种先进材料的制备、性能分析与检测技能的基本训练。具备材料设计和制备工艺设计、开发研究新材料和新工艺方面的基本能力。

本专业主要课程包括物理化学、量子与统计力学、固体物理、材料学导论、材料科学基础、材料物理、材料化学、材料力学、现代材料测试方法、材料工艺与设备、钢的热处理等。

(2) 材料物理专业

材料物理专业培养掌握材料科学的基本理论与技术，具备材料物理相关的基本知识和基本技能，能在材料科学与工程及与其相关的领域从事研究、教学、科技开发及相关管理工作的高级专门人才。本专业学生主要学习材料科学方面的基本理论、基本知识和基本技能，接受科学思维与科学实验方面的基本训练，掌握运用物理学和材料物理的基础理论、基本知识和实验技能进行材料研究和技术开发的基本能力。

学生主要学习工程力学、电工电子学、物理化学、金属工艺学、材料科学基础、工程材料学、材料力学性能、材料现代分析方法、材料物理学、材料理化分析、无损检测、固体物理等。

(3) 材料化学专业

本专业培养掌握材料化学的基本理论与技术，具备材料化学相关的基本知识和基本技能，能运用化学和材料科学的基础理论、基本知识和实验技能，在材料科学与化学及其相关的领域从事研究、教学、科技开发及相关管理工作的高级专门人才。本专业学生主要学习化学和材料科学方面的基本理论、基本知识和基本技能，接受科学思维与科学实验方面的基本训练，并能够熟练运用，了解材料化学理论和应用的最新发展动态，具有运用化学和材料学的基础理论、基本知识和基本技能独立进行研究、教学、生产和开发的基本能力。

本专业主要课程包括材料科学基础、结晶化学、高分子化学、高分子物理、现代材料分析技术、材料研究与测试方法、材料性能学、材料化学、材料工艺学等。

(4) 冶金工程专业

冶金工程专业培养具备冶金物理化学、钢铁冶金和有色金属冶金等方面的知识，能在冶金领域从事生产、设计、科研和管理工作的高级专门人才。冶金工程专业学生主要学习黑色和有色金属冶金的基本理论、生产工艺和设备、实验研究、设计方法、环境保护及资源综合利用的基本理论和基本知识，接受冶炼工艺制定、工程设计、测试技能和科学研究的基本训练，具有开发新技术、新工艺和新材料及工业设计和生产组织、管理的能力。

本专业主要课程包括冶金原理、冶金传输原理、金属学、金属材料及热处理、金属材料性能、冶金与材料物理化学、钢铁冶金学、有色金属冶金学、材料分析方法、材料分析测试技术、金属电化学腐蚀与防护、金属材料成型加工等。

(5) 金属材料工程专业

金属材料工程专业培养具备金属材料科学与工程方面的知识，能在冶金、材料结构研究与分析、金属材料及复合材料制备、金属材料成型等领域从事科学研究、技术开发、工艺和设备设计、生产及经营管理等方面工作的高级专门人才。本专业学生主要学习材料科学的基础理论，掌握金属材料及其复合材料的成分、组织结构、生产工艺、环境与性能之间关系的基本规律。能够通过综合合金设计和工艺设计，提高材料的性能、质量和寿命。

本专业主要课程包括材料科学基础、材料热力学、材料力学性能、金属工艺学、金属热处理原理及工艺、材料的断裂与控制、材料现代分析方法等。

(6) 无机非金属材料工程专业

本专业培养具备无机非金属材料及其复合材料科学与工程方面的知识，能在无机非金属材料结构与分析、材料的制备、材料成型与加工等领域从事科学研究、技术开发、工艺和设备设计，生产及经营管理等方面的高级专门人才。本专业学生主要学习无机非金属材料及复合材料的生产过程、工艺及设备的基础理论、组成、结构、性能及生产条件间的关系，具有材料测试、生产过程设计、材料改性及研究开发新产品、新技术和设备及技术管理的能力。

本专业主要课程包括物理化学、无机材料科学基础、热工基础、热工设备、粉体工程、无机材料性能、无机非金属材料测试及研究方法、无机材料工艺学、水泥工艺设计、陶瓷工艺设计、陶瓷基复合材料等。

(7) 高分子材料与工程专业

本专业培养具备高分子材料与工程等方面的知识，能在高分子材料的合成改性和加工成型等领域从事科学研究、技术开发、工艺和设备设计、生产及经营管理等方面工作的高级专门人才。本专业学生主要学习高聚物化学与物理的基本理论和高分子材料的组成、结构与性能、高分子成型加工技术知识。

本专业主要课程包括化工原理、无机化学、有机化学、分析化学、物理化学、高分子化学、高分子物理、聚物流变学、聚合物成型工艺、聚合物加工原理、精细高分子化工应用、高分子材料研究方法等。

(8) 复合材料与工程专业

复合材料与工程专业涉及材料学、化学、物理学等多门学科，是一门极具发展潜力的多学科交叉新型专业。本专业培养掌握新型复合材料生产原理和生产工艺、能胜任无机材料、高分子材料、新型复合材料等生产企业基层管理工作和实际岗位操作，具有较高综合素质的高级专门人才。本专业学生主要学习材料科学工程、复合材料与工程、复合材料制品成型工艺及设备、复合材料结构设计等方面的基本理论及技能。

本专业主要课程包括材料复合原理、复合材料学、复合材料工艺设备、复合材料工厂设计概论、材料学概论、复合材料的实验技术、高分子化学及物理、高分子物理、热工基础及设备、复合材料工艺学、复合材料聚合物基础、有机化学、物理化学、无机化学等。

(9) 粉体材料科学与工程专业

本专业培养掌握粉体材料科学与工程的基础理论、基本实验技能和研究方法，能在粉体材料加工制备、粉末冶金、陶瓷材料等领域从事科学研究、技术与产品开发、生产工艺设计、质量控制和生产经营管理工作的高级专门人才。

本专业主要课程包括物理冶金基础、粉体工程、粉体固结原理与技术、纳米材料学、粉末冶金学等。

(10) 宝石及材料工艺学专业

宝石及材料工艺学专业培养具备宝石及材料工艺学专业的科学理论、基本知识和实践技能，能在宝石及材料工艺学专业领域和部门从事教学、鉴定、质量评价、分级、定价、款式设计、首饰加工、改善、宝石合成及优化、贸易、市场营销和资产评估等方面工作的高级专门人才。

本专业主要课程包括地质学基础、结晶学与矿物学、晶体光学、宝石学、美术基础、美

术设计原理、宝石仪器及宝石鉴定、首饰设计及效果图、首饰制作工艺学、宝石切磨加工工艺学等。

(11) 焊接技术与工程专业

焊接技术与工程专业是一门集材料学、工程力学、自动控制技术为一体的交叉性学科，本专业培养掌握金属材料的成分及组织、焊接工艺等因素与焊接结构性能之间关系的规律，具备金属焊接相关的基础专业知识和专业技能，能在焊接工艺制定与评定、焊接材料开发、焊接设备开发与控制、焊接结构的断裂与控制等领域从事科学研究、技术开发、生产制造及经营管理等方面工作，具备解决复杂工程问题的能力的高级专门人才。

本专业主要课程包括工程力学、电工电子学、微机原理及接口技术、物理化学、金属工艺学、材料科学基础、材料的力学性能、材料现代分析方法、金属学及热处理、焊接原理、弧焊电源、熔焊方法及设备、焊接结构、金属材料焊接性等。

(12) 功能材料专业

生物功能材料专业是根据社会发展的需要，特别是生物医学工程、组织工程和药物释放等交叉学科技术的迅速发展对专业人才的迫切需求而设立的新专业。本专业培养具有材料科学与工程、生物学和医学等领域的相关知识，掌握生物材料的基础和专业知识，能在生物材料的制备、改性、加工成型及应用等领域从事基础研究、应用研究和技术开发等的综合型高级专门人才。

本专业主要课程包括生物化学、分子生物学、生物医学工程、高分子化学、高分子物理、生物医学材料学、生物材料制备与加工、生物医用高分子改性、组织工程学、控制释放理论与应用、生物可降解高分子、环境材料基础等。

(13) 纳米材料与技术专业

本专业培养具有高分子材料与工程、生物学和医学等领域的相关知识，具有从事科学研究和解决工程中局部问题的高级专门人才。本专业主要学习环境纳米材料的绿色制备及其规模化、面向环境检测的纳米结构与器件的构筑原理、方法、纳米材料与纳米结构性能与机理研究、纳米材料在污染治理中的应用原理、技术与装置研发、纳米材料的环境效应与安全性评估、纳米材料在节能和清洁能源中的应用等。

本专业主要课程包括纳米材料的基本物理效应、纳米材料的表征技术、纳米粉体材料的制备与表面修饰、一维纳米材料的制备、纳米复合材料的制备、纳米结构材料的制备、纳米材料的物理特性与应用、纳米电子器件的基本原理和微加工技术、纳米材料与纳米技术的进展及发展趋势等。

(14) 新能源材料与器件专业

本专业培养具备材料、物理、化学、电子、机械等学科基础，掌握新能源材料、新能源器件设计与制造工艺、测试技术与质量评价、新能源系统与工程等方面的专业基本理论与基本技能的高级专门人才。

本专业主要课程包括固体物理、半导体物理与器件、应用电化学、薄膜物理与技术、无机材料物理化学、材料物理性能、材料研究方法与现代测试技术、新能源材料设计与制备、新能源转换与控制技术、储能材料与技术、半导体硅材料基础、硅材料检测技术、化学电源设计、化学电源工艺学、半导体照明原理与技术、薄膜技术与材料、太阳能电池原理与工艺、太阳能发电技术与系统设计、应用光伏学、电池组件生产工艺、光伏逆变器原理与应用等。

2 材料的结构及性能

人们在制作不同制品时,会采用具有不同性能、不同特征的材料,而材料内部的原子结构、微观组织是决定其宏观特性的根本原因。了解并掌握材料的微观结构与其宏观性能之间的特定关系,是有目的使用材料的前提。本章简要介绍材料分类方法、常用的工程材料、成分与组织结构的含义、材料的基本性能等。

2.1 材料的分类及常用工程材料

材料是人类用来制造生产、生活中使用的机器、构件、器件和其他产品的物质。而工程材料特指用于机械、车辆、船舶、建筑、化工、能源、仪器仪表、航空航天等工程领域的材料,主要用来制造工程构件、机械零件、加工及测量工具等。

2.1.1 材料分类方法

目前世界各国注册的材料有几十万种,并且随着科学技术的进步仍然在不断增加之中。鉴于材料的存在状态、材料来源、物理化学性能、使用性能、应用领域及其在材料发展过程中的阶段不同,材料被分成了不同的类别。

(1) 按材料的存在状态分类

材料以气态、液态和固态三种状态存在,一般工程中使用的多为固态材料。固态材料根据结晶状态又可分为单晶材料、多晶材料、准晶材料和非晶材料,其材料内部的原子结构排列有序程度依次降低。

(2) 按材料的来源分类

材料的来源包括天然形成和人工制造。天然材料指天然的未经加工的材料。人类历史上曾经使用过的天然材料,如石头(石料)、木材、骨头、兽皮、棉、麻、石油、天然气等,目前还在大量使用的天然材料只有石料、木材、橡胶等,而且用量正逐渐减少,许多天然材料正在日益被人造材料所代替。人造材料是指人类以天然物质为原料通过物理、化工方法加工制造的材料,目前所使用的材料大多数为人造材料,如钢铁材料、有色合金材料、陶瓷材料、合成纤维、复合材料等。

(3) 按材料的物理化学属性分类

按材料组成和结合键的性能将材料分为四大类,即金属材料、无机非金属材料、高分子材料和复合材料。由于原子间的相互作用不同,金属材料、无机非金属材料、高分子材料的各种性能差异极大,构成了现代工业的三大材料体系。复合材料是由上述三类材料相互复合而成的,对不同材料取长补短,在性能方面比单一材料优越,具有广泛的应用前景。

(4) 按材料使用性能分类

材料可分为结构材料 and 功能材料两类。结构材料以力学性能为基础,主要用来制造受力构件。但是,结构材料对物理或化学性能也有一定要求,如光泽、热导率、抗辐照、耐腐蚀、抗氧化等。功能材料指具有优良的电学、磁学、光学、热学、声学、化学、生物医学功

能,以及特殊的物理、化学、生物学效应,能完成功能相互转化,主要用来制造各种功能元器件,被广泛应用于各类高科技领域的高新技术材料,如电功能材料、磁功能材料、热功能材料、机械功能材料、核功能材料等。功能材料是新材料领域的核心,它涉及信息技术、生物工程技术、能源技术、纳米技术、环保技术、空间技术、计算机技术、海洋工程技术等现代高新技术及其产业。功能材料不仅对高新技术的发展起着重要的推动和支撑作用,还对我国相关传统产业的改造和升级,实现跨越式发展起着重要的促进作用。

(5) 按应用领域分类

按材料的应用领域可将材料分为航空航天材料、建筑材料、信息材料、电子材料、包装材料、医用材料、机械材料、仪表材料和能源材料等。目前常把能源开发、转换、运输、存储所需材料称为能源材料,而把信息接收、处理、存储和传播所需的材料统称为信息材料。

(6) 按材料的发展过程分类

传统材料和新型材料(又称新材料或先进材料)处在材料发展的不同阶段。传统材料指制造工艺成熟且已长期、广泛应用的材料,如钢铁、水泥、塑料等,其特征是需求量大、生产规模大;而新材料建立在新思路、新概念、新工艺、新技术基础之上,以性能优异、品质高、稳定性高为优势,其显著特征是投资较高、更新换代快、风险大、知识和技术密集程度高、不以规模取胜。

2.1.2 常用工程材料

为了规范工程材料的成分及性能,国家建立各种标准体系规定了工程材料的命名、成分及性能等方面的内容,并随着技术发展持续更新。如 GB/T 221—2008《钢铁产品牌号表示方法》,规定了钢材的命名规则;GB/T 1591—2008《低合金高强度结构钢》,规定了低合金高强度结构钢的牌号、尺寸、外形、质量及允许偏差、技术要求、试验方法、检验规则、包装、标志和质量证明书。牌号是给每一种具体的材料所取的名称。牌号不仅反映出化学成分,而且根据牌号还可以大致判断其质量,从而为生产、使用和管理等工作带来很大方便。如牌号“Q345D”表示屈服强度不低于 345MPa、D 级表示经过特殊镇静处理的、低合金高强度结构钢。

常用的工程材料包括金属材料、无机非金属材料、高分子材料和复合材料。常用金属材料包括铸铁及钢、铝及铝合金、铜及铜合金、钛及钛合金及镍及镍合金;常用无机非金属材料包括陶瓷材料、玻璃材料、耐火材料、水泥等;常用高分子材料包括橡胶、纤维、塑料、高分子胶粘剂、高分子涂料等;复合材料包括金属基复合材料、无机非金属基及聚合物基复合材料。

(1) 常用钢铁材料

灰口铸铁执行 GB/T 9439—2010, HT100、HT200、HT300 为常用灰口铸铁材料,主要用于制造机床床身、导轨等结构。球墨铸铁执行 GB/T 1348—2009, QT400-17 主要用于制造壳体、阀体等结构;QT500-7 主要用于内燃机油泵齿轮、阀体;QT800-2 主要用于制造曲轴、缸套等。

碳素结构钢执行 GB/T 700—2006,常用于一般焊接、铆接、栓接工程结构,包括 Q195、Q215、Q255、Q275。优质碳素结构钢执行 GB/T 699—2015,主要用于制造一般结构及机械结构零、部件以及建筑结构件和输送流体用管道,08 号、10 号、15 号、20 号钢为典型优质碳素结构钢,40 号、45 号钢也是优质碳素钢,常用于制造机器的齿轮、轴等零件;65 号、70 号、85 号、65Mn 为优质碳素弹簧钢。

低合金高强度钢执行 GB/T 1591—2008,用于一般工程结构,Q345、Q390、Q420、Q460